 doi 10.3969/j.issn.1674-4500.2016.01.17



综述

# 无创血红蛋白监测在危重新生儿诊治中应用的研究进展

陈 坤[1],刘利军[2]

[1]内蒙古科技大学包头医学院,内蒙古 包头 014040;[2]包钢集团第三职工医院儿科,内蒙古 包头 014010

**摘要:**血红蛋白在人体中承担着着重要作用,是主要担负着运载氧的功能的大分子蛋白质,通过测量其在血液中的浓度可间接反映机体运输氧的能力,同时也是血常规检查中一项用于筛查有无贫血的指标,检测方法分为有创与无创两种。静脉血液检测是临床中获取血红蛋白浓度最常用的方法。目前随着无创脉搏血红蛋白监测仪的问世,通过无创方式可以对血红蛋白进行实时、动态、连续监测,为手术中出血、动静脉同步换血、贫血及输血监测提供一定的参考。因其无创、实时、动态、连续监测的优点,该项技术出现以来引起新生儿科医生的高度重视。现就无创脉搏血红蛋白监测技术在危重新生儿监护中的应用情况、影响因素进行如下综述,从而进一步探讨其在临床中的应用价值。

**关键词:**无创;血红蛋白;监测;新生儿

临床采集血标本后将标本送至检验科,用全自动血液分析仪测量血红蛋白数值(tHb)的方法为有创检测方法,结果准确,因此被世界卫生组织(WHO)公认为测量血红蛋白浓度的"金标准"[1]。该方法对于新生儿来讲,采血相对困难、费时、不连续性、易致医源性贫血且具有一定感染风险。但目前使用并不广泛的无创脉搏血红蛋白仪,能够快速、连续、无创的,且能降低被检者因采取血标本而带来的感染风险[2]。

## 1 血红蛋白检测方法

### 1.1 有创血红蛋白监测方法

1.1.1 静脉法 化高铁(HICN)法测量血红蛋白浓度因其较高的准确性而被世界卫生组织(WHO)认可为测量血红蛋白浓度的"金标准"[3]。近年来,也有分别以电化学电流法和光学反射法为基础的干化学法[4]血红蛋白测量的研究。

1.1.2 微量法 Hemocue法,即应用Hemocue血红蛋白仪测量被检者体内血红蛋白的浓度的方法,此法同样也是有创方法,需要刺破被检着皮肤以获取少量末梢血液。与被誉为"金标准"的氰化高铁血红蛋白法所测量的血红蛋白浓度值相比较,Hemocue方法测量的结果相对偏高。Kapoor等[5]研究者所做的研究也得出几乎相同的结论,即末梢血Hemocue法测得的血红蛋白浓度较氰化高铁血红蛋白法测得的血红蛋白浓度偏高1.5 g/dL,静脉血Hemocue法测得血红蛋白较氰化高铁血红蛋白法偏高1.2 g/dL。这些方法均为有创伤的,且会给被检测者带来痛苦、增加感染的风险,且每次检测只能得出一个延时的测量结果。

### 1.2 无创血红蛋白监测技术即近红外光谱技术

Jobsis等[6]于1977年第1次发现并报导了氧合血红蛋白及去氧血红蛋白的特征。即它们分别于760 nm及850 nm特定波长近红外区有两个吸收峰,其变化情况可以间接反应血红蛋白的载氧情况。该报道引起了医学界的关注,并应用于生物体组织分析、微生物鉴别、细胞病理等方面。日本的研究人员根据近红外时间分解分光法的原理,测得出来周龄第11~14周雄性鼬鼠体内的血红蛋白的浓度。其中介绍到光在强散射介质内是扩散传播的,从其公式中发现只要知道某种物质的吸光系数,就能求出该物质的浓度[7]。Kuenster等[8]将近红外光谱用于人血液样品的分析:实验所得的结果比较准确,其标准差为0.32 g/dL。 Debreczeny等[9]研究人员利用与脉搏测血氧饱和度相类似的方法,应用时间分辨技术测量光强的原理,测得血红蛋白浓度的标准差为1.1 g/dL。Wuori等[10]人的研究显示:利用MiniforMed的无创血液分析技术原理所测得的血红蛋白浓度与有创方法相比,在11 g/dL到19 g/dL范围内测得的血红蛋白浓度相关性很好,$r^2$=0.97[10]。近红外光谱分析技术可对被检测进行快速、无损伤、可对血液进行多组分同时进行无创检测[11],该技术应用于人体血红蛋白的这一临床领域的发展比较迅速。利用该技术可以测定血液中血红蛋白及其他成分,其中以脉搏血氧饱和度的应用最为成功,其他方面的应用还有待于进一步探索。

### 1.3 血红蛋白测量结果的差异性

Gehring等[12]通过比较5个不同碳氧血氧设备厂家生产的不同的两台设备之间所测得血红蛋白的浓度进行研究发现,它们之间所测血红蛋白浓度平均标准差异为0.5 g/dl(差异在0.1~1.2 g/dl之间)。Gomez-Simon等[13-16]研究发现末梢血血红蛋白水平与动脉与静脉血液可能有显著差异,标准偏差在0.5~1.3 g/dL。由于采取的末梢血标本其组成来源复杂,不仅有末梢毛细血管中的血液,此外还混有组织液及细胞内液等,不能真实的反应循环血液的实际情况,因此会对对仪器的检测产生

**收稿日期:**2015-10-11

**作者简介:**陈 坤,在读研究生,E-mail: ohchenkun@163.com

**通信作者:**刘利军,主任医师,E-mail: liulijun2008mail@163.com

不同程度的影响,所测结果的准确性也存在一定的偏差[17]。因血浆的差异,动脉血与静脉血血红蛋白的差异最高可达0.7 g/dL[18]。站立时血红蛋白水平比坐姿高,最高达1 g/dL[19]。左右手采样差异最高可达0.5 g/dL[20]。Macknet等[21]将彩虹碳氧血氧仪所测血红蛋白与总血红蛋白进行对比研究,其将所测总血红蛋白分成<10 、10 ~11.9 、12~15 g/dL三个范围,发现总血红蛋白低的组,其所测无创血红蛋白值与总血红tHb之间的差异较小。

### 1.4 近红外测量血红蛋白浓度的现有产品

利用近红外技术测量血红蛋白的研究已经有30余年,已经有一些公司应用该技术研发出能够无创、连续、即时并减少感染风险的血红蛋白监测仪,生产上市,并成为现今研究的热点,因其存在干扰因素多,不一定适用于所有患者。目前市场上所销售的能够无创测量血红蛋白的仪器有:日本Sysmex公司生产的Astrim无创血管检测仪、美国Masimo公司利用彩虹技术生产的Masimo Radical-7等系列产品。它们均能连续、无创、实时地监测血红蛋白含量,可为手术中出血、动静脉同步换血、贫血及输血监测提供一定的参考,为早期发现贫血及失血等患者抢救赢得宝贵时机。

## 2 连续无创Hb监测在临床中的应用

### 2.1 在危重新生儿中的应用

唐沂等[22]研究者利用近红外光谱测定技术对经窒息复苏后的新生儿进行氧合血红蛋白浓度监测,分别按照不同时间记录新生儿在环境安静状态下及音乐刺激后脑组织的氧合血红蛋白的浓度,根据窒息程度的不同进行分组,并进行组间比较。研究结果显示:在环境安静的状态情况下,所入选的新生儿脑组织的氧合血红蛋白浓度变化较小,基本上是稳定的,仅有短暂时间小幅度的波动;而在第12~24小时及第2~3天,所入选的正常新生儿和经窒息复苏后的新生儿在环境安静状态下脑组织氧合血红蛋白含量进行比较存在着明显差异;在新生儿病情稳定后第5~7天后,测得脑组织中氧合血红蛋白浓度,正常新生儿和经复苏的轻度窒息患儿环境安静状态下脑组织中氧合血红蛋白含量相比较无显著性差异,而正常新生儿、经窒息复苏后的轻度窒息患儿及重度窒息患儿病情稳定后第5~7天环境安静的状态下脑组织氧合血红蛋白浓度相比较仍存在着显著性的差异。在给予音乐刺激后的正常新生儿及经窒息复苏后的新生儿,其在第12~24小时、第2~3天音乐刺激后脑组织的氧合血红蛋白与安静时无明显变化,随着病情的好转,第5~7天经复苏的轻度窒息新生儿对音乐的刺激和正常的新生儿出现类似的变化,但重度窒息患儿仍然对刺激无明显反应。Nicholas等[23]研究早产儿无创血红蛋白(SpHb)与实验室总血红蛋白(tHb)之间的关系。研究得出这两方法的结果之间的相关系数$r^2$=0.66,而胎龄≤32周的新生儿它们之间的相关系数$r^2$=0.69相关性更强。并得出它们之间的偏差及精度为-0.23±1.60 g/dl。

### 2.2 容量治疗

对术中患者进行补液可以维持术中患者血压等循环的稳定、改善微循环灌注,减少术中不必要的异体输血及可能带来的感染风险。适当的补液不仅可挽救患者的生命,还可能改善疾病预后。但过度补液会使血液中血红蛋白过度稀释,还有可能增加患者的循环负荷,对患者产生严重影响。因此容量治疗过程中同时监测血红蛋白水平尤其重要。传统的方法有创、不能连续,不利于持续的监测而不能及时指导容量治疗。Macknet等[24]研究人员对30例不同类型的手术患者与18名健康的志愿者进行等容量血液稀释治疗,结果显示:在有创血红蛋白在44~158 g/L之间时,无创血红蛋白数值与静脉血红蛋白数值两者的相关系数为0.882,在等容量稀释中无创血红蛋白数值具有比较好的的指导作用。Bergek等[25]研究人员发现经皮血红蛋白(SpHb)值受所输注的晶体液与胶体液本身的性质的影响。

### 2.3 指导输血

血液资源匮乏及异体输血带来的感染风险,成为临床工作中关注方面之一。围手术期患者的贫血及对其相应的输血将影响围手术期患者的预后及死亡率[26-29]。且在有复杂合并症的患者中该影响因素更加显著[28]。临床中通常经过监测患者的血红蛋白浓度,并根据具体生命体征变化及相应指征而决定是否输血。Applegate等[29]研究人员对进行腹部及骨盆手术的患者的术中输血情况进行研究,得出无创血红蛋白数值与实验室有创血红蛋白的相关系数为0.69,无创经皮血红蛋白数值与实验室有创血红蛋白差值的平均值为5.0±14.4 g/L。当血红蛋白浓度处于低水平状态时,无创血红蛋白要高于实验室有创血红蛋白,表明无创经皮血红蛋白对于监测指导输血并不是很安全。此外Berkow等[30]研究发现:对于脊柱手术患者,当其血红蛋白值维持在100 g/L以上的情况下,无创血红蛋白可以用来指导血液管理。

### 2.4 ICU患者使用

ICU中的重症疾病患者,病情随时随刻都有恶化危险。动态观察患者血红蛋白水平有助于观察患者病情变化情况。但每次抽取血液标本都相当于对患者的再一次创伤,假如使用连续无创血红蛋白监测的重症患者的血红蛋白的精确度在临床上能够接受,便能够在一定程度上减轻患者的痛苦。Frasca等[31-32]利用连续无创血红蛋白监测仪监测ICU中的重症患者,结果显示与实验室检查结果相比较,其精确度在临床上能够接受的,因此可用于ICU重症患者的监测,此外他们的研究也发现使用连续无创血红蛋白监测仪指导输血时,其精确度还是存在不小的偏差,应谨慎使用。Jung等[33]研究NICU中的患者,结果显示该方法对早期发现新生儿血红蛋白

变化是有意义的。而Nguyen等[34]研究人员应用无创血红蛋白监测仪对心脏手术后重症监护室的患者进行监测，得出其的无创血红蛋白的精确度与实验室检测比较相关性较差。

2.5 急诊患者使用

在急诊中，快速准确的测量出血红蛋白的数值对于患者的抢救意义重大。而当今所使用的血红蛋白检测方法多是滞后且延时的。如果无创血红蛋白的精确度能够在急诊中得到肯定，那么将能够较大程度的减少患者等待实验室检查结果的时间，为患者的救治赢得宝贵的时间。但Gayat 等[35]将无创经皮血红蛋白仪用于急诊科患者中研究显示：SpHb 与 Hb 的差值 为 18 g/L [95% 置信区间（15.1，20.9）]，相关系数为0.53。如果根据经皮血红蛋白仪所测得的数值来指导输血，大约有13%的患者经输血治疗是不恰当的，该技术应用于急诊科不够准确。而另外一些学者的研究则认为无创血红蛋白监测技术能够用于急诊室患者的容量分布监测[36]。

2.6 贫血患者使用

全球约有30亿人不同程度贫血，不同国家其快速筛查人群中贫血者能力体现其医疗水平的高低。目前临床上较常用的方法是通过采取人体静脉血液标本测量其血红蛋白浓度来判断被检者是否贫血。Crowley等[37]研究显示无创血红蛋白监测技术可以用于贫血患者的筛查，且可在更短的时间内确定是否是贫血。

## 3 影响因素

关于无创血红蛋白在临床应用的精确性，在不同的临床情况下无创血红蛋白的准确性差别很大，也存在着有截然不同的结果。因此有越来越多学者研究影响无创血红蛋白准确性的可能因素，目前关注较多的的可能影响无创血红蛋白准确性的因素主要有脉搏灌注指数（PI）、被检者的失血量及血红蛋白浓度等。

3.1 灌注指数（PI）

PI 能够反映指尖局部的灌注状态，进而间接实时反应外周循环的变化。而对指尖进行局部加温[38]及局部神经阻滞后都能够临时改善其灌注情况。有学者研究表明随着测量部位脉搏灌注指数值的增加，无创血红蛋白与有创血红蛋白的差值显著的降低[39-40]。Miller 等[41]研究显示对患者指神经阻滞后其灌注指数值增长了0.55，无创血红蛋白值与有创血红蛋白差值在5 g/L之内所占比重也显著增加，而当灌注指数大于2.0时，无创血红蛋白与有创血红蛋白差值大于20 g/L的比例下降更加明显。由此研究得出指神经阻滞可以显著提高无创血红蛋白测量值的精确度，无创血红蛋白监测技术联合指神经阻滞将更有效的指导临床输血。

3.2 失血量

当围手术期患者大量失血时，为维持重要脏器的血流灌注，外周血管会发生收缩，这可能会在一定程度上影响PI值，从而影响监测SpHb所获取的信号质量及准确性。Applegate 等[42]研究发现，失血量较大的患者，SpHb与Hb差值更大，测得的SpHb值更不准确。

3.3 血红蛋白浓度

血红蛋白的浓度也可能是影响无创血红蛋白准确性的其中的一个要素。有研究报道，在所研究的成人中，随着所测血红蛋白浓度水平的增加，无创血红蛋白与有创血红蛋白差值会降低[42-43]。Park 等[44]研究发现当血红蛋白处于较低水平时，无创血红蛋白数值有可能会提供高于实际值的较高的错误数值，因而当所测得无创血红蛋白值小于90 g/L时或者决定是否需要进行输血时，需要用更准确的方法测量血红蛋白数值。

3.4 其他

Gayat 等[2]研究显示：在手术患者全身麻醉诱导期间，无创血红蛋白值会伴随着吸入氧浓度的增加而增长，其关系是非线性的，得出无创血红蛋白值的准确性可能会受患者吸入氧浓度的影响。

综上所述，无创血红蛋白监测技术不仅是一种无创的，而且是连续、即时监测血红蛋白的方法，在一定情况下可以用于指导临床的诊断及相对应的治疗，在成人等方面有不少研究报道，但关于新生儿特别是危重新生儿相关SpHb的研究及报道鲜有，且其应用受多种因素影响，为尽量提高其准确性，减少外界干扰，有待于进一步研究。

## 参考文献：

[1] Karkouti K, Wijeysundera DN, Yau TM, et al. Influence of erythrocyte transfusion on the risk of acute kidney injury after cardiac surgery differs in anemic and nonanemic patients [J]. Anesthesiology, 2011, 115(3): 523-30.

[2] Gayat E, Bodin A, Fischler M. Instability in non-invasive haemoglobin measurement:a possible influence of Oxygen administration[J]. Acta Anaesthesiol Scand, 2011, 55(7): 902.

[3] 张亚男. 氰化高铁血红蛋白测定法对血红蛋白测定方法及临床意义[J]. 中国现代药物应用, 2013, 7(11): 48-9.

[4] 孙 颖, 段佳丽, 滕立新, 等. 干化学法与氰化高铁法检测血红蛋白的对比分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2015(3): 332-4.

[5] Kapoor SK, Kapil U, Dwivedi SN, et al. Comparison of HemoCue method with cyanmethemoglobin method for estimation of hemoglobin[J]. Indian Pediatr, 2002, 39(8): 743-6.

[6] Jöbsis FF. Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial Oxygen sufficiency and circulatory parameters [J]. Science, 1977, 198(4323): 1264-7.

[7] 山下丰. 小田元树,田村守,利用近红外时间分解分光法测定生物体内血红蛋白浓度[M]. 江涛译, O plus E, 1994.

[8] Kuenstner JT, Norris KH. Near infrared hemoglobinometry[J]. J of Near Infrared Spectroscopy, 1995, 3(7): 11-8.

[9] Debreczeny M P, Stetson P, Baker C. Feasibility assessment of optical noninvasive total hemoglobin measurement[C]//Biomedical Optics 2003. International Society for Optics and Photonics, 2003: 122-33.

[10] Wuori, Edward R, Gmitter, et al. Non-invasive in-vivo monitoring of total blood hemoglobin [C]//Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, 2003: 160-7.
[11] 刘庆珍. 近红外光谱法无创测量人体血红蛋白浓度的研究[D]. 天津: 天津大学, 2005.
[12] Gehring H, Duembgen L, Peterlein MA, et al. Hemoximetry as the Gold standard? error assessment based on differences among identical blood gas analyzer devices of five manufacturers [J]. Anesth Analg, 2007, 105(6): S24-30.
[13] Gomez-Simon A, Navarro-Nunez L, Perez-Ceballos E, et al. Evaluation of four rapid methods for hemoglobin screening of whole blood donors in Mobile collection settings[J]. Trans Apheresis Sci, 2007, 36(3): 235-42.
[14] Patel KP, Hay GW, Cheteri MK, et al. Hemoglobin test result variability and cost analysis of eight different analyzers during open heart surgery[J]. J Extra Corpor Technol, 2007, 39(1): 10-7.
[15] Van De Louw A, Lasserre N, Drouhin FA, et al. Reliability of HemoCue in patients with gastrointestinal bleeding[J]. Intens Care Med, 2007, 33(2): 355-8.
[16] Agarwal R. Bedside hemoglobinometry in hemodialysis patients: lessons from point-of-care testing[J]. ASAIO J, 2001, 47(3): 240-3.
[17] 陈丽芳. 末梢血和静脉血血常规检测结果对照分析[J]. 国际检验医学杂志, 2013, 34(18): 2462-3.
[16] Mokken FC, Van Der Waart FM, Henny CP, et al. Differences in peripheral arterial and venous hemorheologic parameters [J]. Ann Hematol, 1996, 73(3): 135-7.
[19] Gore CJ, Scroop GC, Marker JD, et al. Plasma volume,osmolarity, total protein and electrolytes during treadmill running and cycle ergometer exercise[J]. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 1992, 65 (4): 302-10.
[20] Morris SS, Ruel MT, Cohen RJ, et al. Precision, accuracy, and reliability of hemoglobin assessment with use of capillary blood [J]. American J of Clinil Nutri, 1999, 69(6): 1243-8.
[21] Macknet MR, Allard M, Applegate RL, et al. The accuracy of noninvasive and continuous total hemoglobin measurement by pulse CO-Oximetry in human subjects undergoing hemodilution[J]. Anesthesia & Analgesia, 2010, 111(6): 1424-6.
[22] 唐 沂, 李志光, 林真珠, 等. 新生儿窒息复苏后脑组织的氧合血红蛋白的变化[J]. 中国优生与遗传杂志, 2008, 16(2): 82-3.
[23] Nicholas C, George R, Sardesai S, et al. Validation of noninvasive hemoglobin measurement by pulse co-oximeter in newborn infants [J]. J of Perinatology, 2015, 15(8): 17.
[24] Macknet MR, Norton S, Kimball-Jones P, et al. Continuous noninvasive measurement of hemoglobin via pulse CO-oximetry [J]. Anesth Analg, 2007, 105(6): S108-9.
[25] Bergek C, Zdolsek JH, Hahn RG. Accuracy of noninvasive haemoglobin measurement by pulse oximetry depends on the type of infusion fluid (vol 30, pg 73, 2013) [J]. Eur J Anaesthesiol, 2014, 31(7): 396.
[26] Beattie WS, Karkouti K, Wijeysundera DN. Risk associated with preoperative anemia in noncardiac surgery a single-center cohort study[J]. Anesthesiology, 2009, 110(3): 574-81.
[27] Glance LG, Dick AW, Mukamel DB, et al. Association between intraoperative blood transfusion and mortality and morbidity in patients undergoing noncardiac surgery [J]. Anesthesiology, 2011, 114(2): 283-92.
[28] Beattie WS, Wijeysundera DN, Karkouti K, et al. Acute surgical anemia influences the cardioprotective effects of beta-blockade:a single-center, propensity-matched cohort study[J]. Anesthesiology, 2010, 112(1): 25-33.
[29]Applegate R, Barr SJ, Collier CE, et al. Evaluation of pulsecooximetry in patients undergoing abdominal or pelvic surgery[J]. Anesthesiology, 2012, 116(1): 65-72.
[30]Berkow L, Rotolo S, Mirski E. Continuous noninvasive hemoglobin monitoring during complex spine surgery[J]. Anesth Analg, 2011, 113(6): 1396-402.
[31] Frasca D, Dahyot-Fizelier C, Catherine KA, et al. Accuracy of a continuous noninvasive hemoglobin monitor in intensive care unit patients[J]. Crit Care Med, 2011, 39(10): 2277-82.
[32] Gölzenleuchter, M. Accuracy of continuous and noninvasive total hemoglobin measurement using multiwavelenght pulse-oximetry in ICU patients: 3AP1-1[J]. European J of Anaesthesi, 2011, 28 (9): 25-6.
[33] Jung YH, Lee J, Kim HS, et al. The efficacy of noninvasive hemoglobin measurement by pulse CO-Oximetry in neonates[J]. Pedia Criti Care Med, 2013, 14(1): 70-3.
[34] Ba-Vinh N, Vincent JL, Nowak E, et al. The accuracy of noninvasive hemoglobin measurement by multiwavelength pulse oximetry after cardiac surgery[J]. Anesth Analg, 2011, 113(5): 1052-7.
[35]Gayat, Etienne. Performance evaluation of a noninvasive hemoglobin monitoring device[J]. Annals of Emerg Med 57, 4(2011): 330-3.
[36]Sjöstrand, Fredrik. The use of a noninvasive hemoglobin monitor for volume kinetic analysis in an emergency room setting[J].. Anesthesia&Analgesia 116, 2(2013): 337-42.
[37]Crowley C, Montenegro-Bethancourt G, Arriaga C, et al. Correspondence of hemoglobin values obtained by a noninvasive, cutaneous-contact method with values obtained by conventional methods from whole blood samples in a Guatemalan field setting[J]. Food Nutr Bull, 2010, 31(4): 503-12.
[38] Bornmyr, S. Finger skin blood flow in response to indirect cooling in normal subjects and in patients before and after sympathectomy [J]. Clin Physi 18, 2(1998): 103-8.
[39] Lange KH, Jansen T, Asghar S, et al. Skin temperature measured by infrared thermogra-phy after specific ultrasound-guided blocking of the musculocu-taneous, radial, ulnar, and median nerves in the upper extremity[J]. Br J Anaesth, 2011, 106(6): 887-95.
[40]Sjostrand F, Rodhe P, Berglund E, et al. The use of a noninvasive hemoglobin monitor for volume kinetic analysis in an emergency room setting[J]. Anesth Analg, 2013, 116(2): 337-42.
[41]Miller RD, Ward TA, Shiboski SC, et al. A comparison of three methods of hemoglobin monitoring in patients undergoing spine surgery[J]. Anesth Analg, 2011, 112(4): 858-63.
[42] Applegate R2, Barr SJ, Collier CE, et al. Evaluation of pulse cooximetry in patients undergoing abdominal or pelvic surgery[J]. Anesthesiology, 2012, 116(1): 65-72.
[43]Miller RD, Ward TA, Mcculloch CE. Does a digital regional nerve block improve the accuracy of noninvasive hemoglobin monitoring [J]. J Anesth, 2012, 26(6): 845-50.
[44] Park, Yong YH. The accuracy of noninvasive hemoglobin monitoring using the radical-7 pulse CO-Oximeter in children undergoing neurosurgery[J].Anesthesia&Analgesia 115, 6(2012): 1302-7.